

УДК 620.22

DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.5-13

EDN: [YRKKTU](#)



Перспективность применения новейших материалов в космическом материаловедении

Е.С. Зогова, С.А. Арефьева *

Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2,
Краснодар, 350072, Россия

*E-mail: zogova02@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются материалы, применяемые в космическом материаловедении. Определены причины появления космического материаловедения. Изучены факторы, воздействующие на материалы со стороны космического пространства. Определены главные эксплуатационные требования. В результате проведения исследования были определены перспективные материалы, использование которых выведет космическое материаловедение на новый уровень.

Ключевые слова: космическое материаловедение, техническое развитие, факторы, эксплуатационные требования, задачи, интеллектуальные композиты, самовосстанавливающийся материал, нанотрубки

The prospects of using the latest materials in space materials science

E.S. Zogova, S.A. Arefieva*

Kuban State Technological University, Moskovskaya str. 2, Krasnodar, 350072,
Russia

*E-mail: zogova02@mail.ru

Abstract. This article discusses materials used in space materials science. The reasons for the appearance of space materials science are determined. The factors affecting materials from outer space have been studied. The main operational requirements are defined. As a result of the research, promising materials were identified, the use of which will bring space materials science to a new level.

Keywords: space materials science, technical development, factors, operational requirements, tasks, intelligent composites, self-healing material, nanotubes

1. Введение

Освоение космоса стало переломным моментом всего XX века. Вследствие этого человечество узнало много о космическом пространстве, его составе, безграничности; некоторые убеждения были разрушены, на смену им пришли новые догадки и предположения; увеличилось число исследований, сам масштаб исследований. Стало ясно, что освоение космического пространства стало новой мерой технического развития стран. Для более полной и точной информации была необходима интеграция как государств, так и научных дисциплин. Специалисты разных научных отраслей работали вместе, научные учреждения и институты положили начало созданию целых космических проектов. Отсюда возникло такое важное в настоящее время научное направление – космическое материаловедение.

Космическое материаловедение – это наука, которая теоретически и экспериментально изучает процессы, непосредственно протекающие в элементах и материалах космического аппарата, занимается разработкой новых методов и средств защиты от воздействия многих неблагоприятных факторов и, самое важное, включает в себя создание новых, надёжных, прочных материалов и систем.

Космическое материаловедение как самостоятельная научная отрасль возникла не так давно, однако по сравнению с другими научными направлениями, требует все больше и больше усовершенствований. Это связано, прежде всего, с получением новых знаний о безграничном пространстве. Поэтому, несмотря на достигнутые к настоящему моменту успехи, исследования, проводимые в данной отрасли, остаются актуальными постоянно.

С получением новых меняющихся знаний о космосе, развитием методов исследований, улучшением конструкций космической техники, перед космическим материаловедением встала огромная задача – разработать новые материалы, новые системы, элементы и оборудования.

2. Цель исследования

Цель данной работы заключается в подборке новых материалов, которые бы удовлетворяли бы всем требованиям и подходили для использования в космической технике.

3. Методы и материалы исследования

В данной статье мы разберем основные факторы, воздействующие на элементы космических аппаратов, основные материалы, используемые в настоящее время в космической технике. На основе требований и задач космического материаловедения проведём исследование по поиску новых материалов и их перспективности использования непосредственно в данной отрасли.

Начнём с факторов, которые оказывают наибольшее воздействие на космические аппараты. Одним из главных факторов являются заряженные частицы как средних, так и высоких энергий. Такие частицы входят в состав радиационных поясов Земли, космического корпускулярного излучения как галактического, так и солнечного происхождения. Радиационные условия космических аппаратов зависят от того, через какие зоны космической радиации проходит данный аппарат, сюда же входят и особенности строения конструкции самого аппарата. Под действием излучений различного происхождения проходят обратимые и необратимые эффекты, которые приводят к нарушению нормального функционирования самой системы всего оборудования или аппарата. Согласно данным, космические аппараты и системы имеют небольшой срок службы, в целом, примерно 7 – 10 лет. Отсюда вытекает необходимость повышения радиационной стойкости материалов и оборудования аппаратов. В таблице 1 приводятся основные космические излучения и их характеристики.

Таблица 1. Параметры галактических и солнечных космических лучей, радиационных полюсов Земли и горячей магнитосферной плазмы.

Тип корпускулярных космических излучений	Состав	Энергия частиц, МэВ	Плотность потока, $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Галактические космические лучи	Протоны	$10^2 - 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^4$
	ядра He		10^3
	Тяжелые ядра		$1,2 \cdot 10^1$
Солнечные космические лучи	Протоны	$1 - 10^4$	$10^7 - 10^8$
	Радиационные пояса Земли	Протоны	$1 - 30$
Электроны		>30	$2 \cdot 10^8$
		$0,1 - 1,0$	$1 \cdot 10^{12}$
		$>1,0$	$1 \cdot 10^{10}$
Горячая магнитосферная плазма	Протоны	$10^{-3} -$	$10^{11} - 10^{14}$
	Электроны	10^{-1}	

Среда, которая оказывает самостоятельное влияние как на оборудование космических аппаратов, так и на материалы, является космический вакуум. Рассмотрим механизмы, происходящее в вакууме. При помещении материалов в вакуум начинается выделение газов, примесей, добавок, происходит переход веществ из твердой фазы в газовую. Данные механизмы только ухудшают функционирование систем и аппаратов, например, ухудшаются оптические, электрофизические характеристики. За счёт этих процессов также возможно образование собственной внешней атмосферы, появление которой приводит к загрязнению поверхности космических аппаратов продуктами осаждения, снижения электрической прочности.

«Химическое распыление» также негативно воздействует на космические аппараты. Данный процесс происходит под действием содержащегося в составе атмосферы Земли атомарного кислорода. Химическому распылению в основном подвержены полимерные материалы, которые в настоящее время активно используются при разработке конструкций космических аппаратов.

Что касается самого космического пространства, то основным фактором, воздействующим на космические аппараты, является действие плазмы с различными характеристиками. Напомню, что плазмой называют частично или полностью ионизированный газ. При воздействии плазмы на космические аппараты на их поверхности образуется электрический заряд и некоторый потенциал. Этот процесс называется электризацией или заряджением космических аппаратов. Это наиболее опасно для высокоорбитальных аппаратов. В результате воздействия плазмы на космических аппаратах могут возникать электрические заряды, которые создают интенсивные электромагнитные помехи в работе оборудования и приводят к необратимым повреждениям.

Материалы, которые используются при проектировке и изготовлении космических кораблей и ракет, следует выбирать с учетом эксплуатационных требований. Как сказано выше, воздействие космической среды на различные материалы и аппараты является главным разрушающим фактором. Металлы являются основными конструкционными материалы для создания ракетно-космической техники. При проектировке и изготовлении космических аппаратов используют жаропрочные и тугоплавкие металлы, например, ниобий, молибден, тантал, вольфрам и рений. Кроме

того, применение находят такие металлы, как бериллий, сталь, железо, титановые сплавы, магниевые сплавы и алюминиевые сплавы.

Жаропрочные стали и сплавы применяются для изготовления реактивных двигателей, атомных устройств, котлов и других устройств, которые эксплуатируются при высоких температурах. Тугоплавкие металлы используются при строительстве ракет, космических кораблей, реакторов. Молибден и вольфрам используют, в основном, в электронной промышленности. Бериллий в связи с его большой теплоемкостью и жаропрочностью применяются в теплозащитных конструкциях космических аппаратов. Железо является вторым по применению металлом в ракетах.

Самыми распространёнными элементами при изготовлении космических кораблей являются алюминиевые и титановые сплавы. Остановимся на них. Коррозионная стойкость, легкость делают титановые сплавы отличными конструкционными материалами, которые находят применение в широком диапазоне температур. Технический титан славится своей прочностью, так как выдерживает нагрузки, противостоит ударам, поддается ковке. Титановые сплавы также применяют для обшивки кораблей, силовых элементов. Их них изготавливают элементы и детали, которые подвергаются высоким инерционным нагрузкам, например, скоростные роторы.

Алюминиевые сплавы являются основными конструкционными материалами в ракетной и космической технике. Конструкции первых спутников включали в себя именно алюминиевые сплавы за счет своей легкости и прочности. Алюминий нашел применение в качестве ракетного горючего.

Новые материалы должны удовлетворять следующим требованиям: они должны выдерживать высокие температуры и давление, вибрационные нагрузки, глубокий вакуум, микрочастицы, низкие температуры и радиационное воздействие. Кроме того, такие материалы должны иметь достаточно низкую удельную массу.

Для определения списка новых материалов, которые нашли бы применение в космической технике, необходимо учесть не только эксплуатационные требования, но и задачи, вставшие перед всем космическим материаловедением. В частности, создание обновленных моделей космической среды; систем для анализа и прогнозирования её воздействия на аппараты; создание новых материалов на основе композитов и наноструктур; создание новых элементов электроники и сенсоров для космической

техники; разработка эффективных методов защиты космических аппаратов от воздействия среды.

Таким образом, новые материалы должны быть изготовлены на основе композитов или наноструктур, устойчивы к высокому радиационному влиянию среды, включать системы автоматического управления и справляться с более новыми и сложными задачами.

В настоящее время пользуются популярностью в космической технике такие материалы, как интеллектуальные композиты, самовосстанавливающиеся материалы и нанотрубки.

Интеллектуальные композиты являются представителями нового класса материалов. Их использование в космической технологии представляет наибольший интерес у специалистов. В чем заключается их уникальность и, соответственно, востребованность? Прежде всего, данные материалы обладают свойством, отличным от свойств других материалов. Они способны не только воспринимать новые нагрузки, но и регулировать степень реакции на данные изменения. Само понятие «интеллектуальные» включает в себя следующие составляющие: контроль основных параметров, функций; способность материалов оценивать обстановку, ситуацию, в следствие которых происходит изменение их свойств, а также способность моментально реагировать на полученные результаты собственного анализа данной изменяющейся обстановки. Такие уникальные свойства обеспечиваются компонентами, входящими в состав материалов. Например, компоненты с памятью, оптические и пьезоэлектрические датчики, сплавы с магнитными свойствами. Следовательно, вышеперечисленные компоненты встраиваются в полимерную матрицу. Оптические и пьезоэлектрические датчики четко оценивают окружающую среду, реагируют на её воздействия. Компоненты с памятью необходимы для того, чтобы материал мог адаптироваться к изменениям окружающей среды, полученных непосредственно с датчиков. Сплавы делают материал эластичным: при нагревании форма может выпрямляться, а при охлаждении - принимать первоначальную форму.

Таким образом, интеллектуальные композиты отлично подходят для космической техники. Прежде всего, это связано с тем, что сам материал может отлично получать сигналы окружающей среды, распознавать их и адаптироваться к изменениям. Однако

производство таких материалов является очень затратным и энергоёмким. Но это не меняет тот факт, что интеллектуальные композиты не имеют себе равных при строительстве новейших космических аппаратов.

Таким же интересом пользуются самовосстанавливающиеся материалы. К самовосстанавливающим материалам относятся такие материалы, которые могут самостоятельно восстанавливаться свою первоначальную форму, структуру, в следствие их разрушения под действием каких-либо факторов. Раньше было сложно представить, что материалы могут обладать процессом, который широко распространён в природе. Однако с развитием технологий стало очевидно, что и в искусственных материалах может возникать процесс регенерации. В последние годы разработаны многие композиционные материалы, обладающие данным свойством. Сам процесс восстановления осуществляется благодаря наличию в структуре исходного материала восстанавливающего компонента. Наиболее распространённым представителем являются полимеры, которые содержат восстанавливающие компоненты в виде жидкости. Жидкость размещается в специальных микрокапсулах, которые также встроены в матрицу композита. Как работает процесс восстановления целостности материала? При повреждении материала жидкость высвобождается из микрокапсулы и движется к повреждённому участку. К восстанавливающим агентам относят эпоксидные смолы и катализатор, которые ускоряют процесс полимеризации, тем самым восстанавливая повреждённые участки и, следовательно, саму структуру материала.

Данные материалы можно смело использовать при изготовлении аппаратов, которые работают в тяжёлых условиях, где особо ценится надёжность всего элемента.

Молекула нанотрубки, согласно данным, содержит около 1 миллиона атомов углерода. По форме представляют собой трубу с диаметром около нанометра.

Внутри нанотрубки пологие, а поверхность состоит, соответственно, из атомов углерода. Благодаря тому, что трубки внутри пустые, в них можно вводить атомы других веществ, и тогда это будет похоже на контейнер для их транспортировки. В этом заключается их уникальность. Кроме того, нанотрубки славятся прочностью и лёгкостью, что, как мы выяснили в начале, очень ценится в космическом материаловедении. Например, одна нанотрубка будет в 6 раз легче, и где-то в 100 раз прочнее обычной стали. Трубки стали востребованными, когда возник проект

«космический лифт» (трос в несколько десятков тысяч километров, который будет соединять орбитальную космическую станцию с установленной на Земле платформой). С помощью такого механизма можно доставлять непосредственно в космос людей и грузы. Для этого будет тратиться меньше средств, чем на запуск ракеты. Данный проект находится только на стадии разработки. Однако не стоит считать, что использование нанотрубок ограничивается «космическим лифтом».

4. Полученные результаты

Результаты исследования изобразим в виде таблицы. Из таблицы 2 видно, что интеллектуальные композиты, самовосстанавливающийся материал, нанотрубки удовлетворяют всем эксплуатационным требованиям, поэтому их использование в космической технике очень перспективно. Использовать данные материалы можно совместно с другими. Например, на данный момент известно очень много материалов, использующих в своей основе интеллектуальные особенности. Обширен и список материалов, использующих восстанавливающие агенты, которые возвращают целостность структуры материала.

Таблица 2. Перспективность использования новейших материалов в космической технике.

Название материала	Эксплуатационные требования	Задачи космического материаловедения	Надежность	Легкость производства	Перспективность использования
Интеллектуальные композиты	+	+	+	+	+
Самовосстанавливающийся материал	+	+	+	+	+
Нанотрубки	+	+	+	+	+

5. Выводы

Производство и использование данных материалов очень затратно. С бурным развитием промышленности, наших знаний о космическом пространстве рано или поздно заставит человечество пойти на такие риски.

В данной статье мы разобрали причины возникновения и становления космического материаловедения, определили главные задачи, требования к материалам, основные материалы, используемые в космической технике и провели исследования, где выяснили, что в скором времени на смену алюминиевых, титановых и других наиболее известных нам металлов, придут определено новые, уникальные материалы с особыми

свойствами и механизмами: интеллектуальные композиты, самовосстанавливающиеся материалы и нанотрубки.

Список литературы

1. Акишин, А. И. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов / А. И. Акишин, Л. С. Новиков. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
2. Акишин, А. И. Модель космоса. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / А. И. Акишин, Л. С. Новиков, А. А. Маклецов, В. Н. Милеев. Под ред. проф. Л.С. Новикова. – М.: ЭНЦИТЕХ, 2007. – 315 с.
3. Милинчук, В. К. Основы радиационной стойкости и органических материалов / В. К. Милинчук, Э. Р. Клишпонт, В. И. Тупиков. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 252 с.
4. Новиков, Л.С. Физические механизмы радиационной электризации космических аппаратов / Л. С. Новиков Л.С. // Космонавтика и ракетостроение. Научно-технический журнал ЦНИИМАШ. – 2003. – № 1(30). – С. 15-24.